

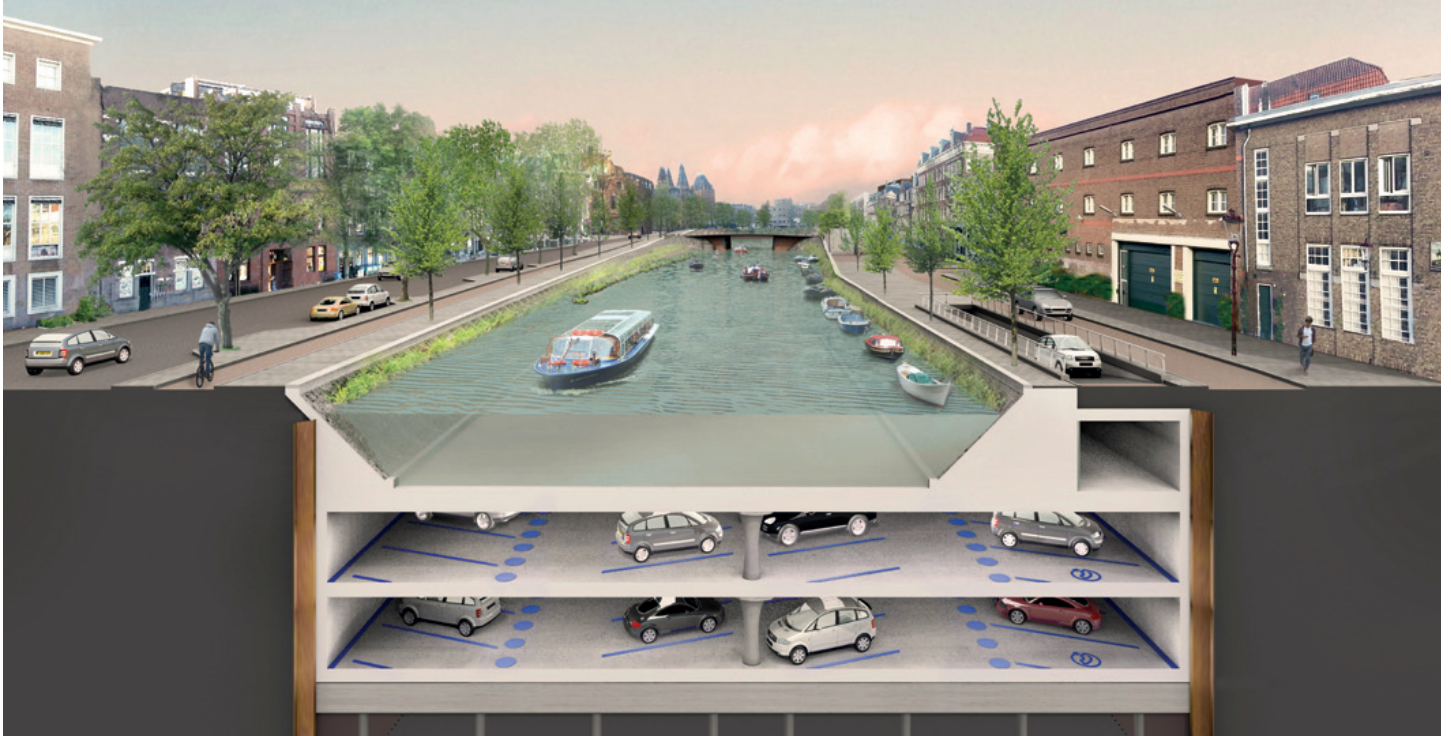
Water funderen op water

Albert Cuyppgarage Amsterdam

Een parkeergarage onder de Amsterdamse gracht: een uniek project. In opdracht van Stadsdeel Zuid wordt op steenworpafstand van het Museumplein een parkeergarage gebouwd onder de Boerenwetering. Een voorziening voor ruim 600 auto's en 60 fietsen. Efficiënt gebruik van de beperkte ruimte in de Oude Pijp staat voorop; de komst van de Albert Cuyppgarage verlaagt de parkeerdruk en biedt meer ruimte voor groen, voetgangers en fietsers in de buurt. Dit artikel zoomt in op de funderingswijze van de garage, die even bijzonder is als het project zelf.

Projectgegevens

Oprachtgever: Stadsdeel Zuid,
Gemeente Amsterdam
Hoofdaannemer: Max Bögl Nederland B.V.
Hoofdconstructeur: Van Rossum B.V.
Geotechnisch advies: CRUX B.V.
Architect: Zwarts & Jansma Architecten
Projectomvang: 16.000 m² bvo
Parkeergelegenheid: 600 auto's +
60 fietsen
Doorlooptijd: 2015 - 2018



Het ontwerp van de parkeergarage omvat een bouwkuip van 260 m lang en 30 m breed. Er zijn twee parkeerlagen voorzien. Voor de eindsituatie wordt de bijna 3 m diepe gracht bovenop het 'dek' in ere hersteld. Hierdoor is de benodigde ontgravingsdiepte vergelijkbaar met een 2,5 à 3-laags diepe kelder en was voor de bouwfase een onderafdichting benodigd met onderwaterbeton (OWB). Stalen damwanden en een stempelraam zorgen voor voldoende stabiliteit van de bouwkuip om de aangrenzende wegen, kabels, leidingen en grachtenpanden op hun plek te houden. Om deze stabiliteit verder te vergroten, is het stempelraam onderwater geplaatst. Doordat ook de OWB-vloer werkt als een stijf stempel kon de damwand geoptimaliseerd worden naar relatief lichte en korte profielen die statisch drukkend konden worden ingebracht - aan de Ruysdaelkade met een silent piler, aan de Hobbemakade met een hoogfrequent trillingsblok. Om het

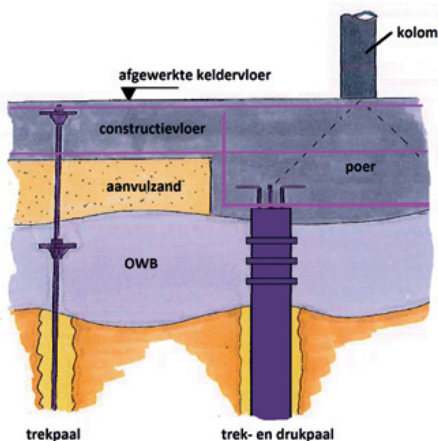
riscio op omgevingsbeïnvloeding verder te beperken, zijn verloren damwanden toegepast. De damwanden worden in de eindsituatie benut als grond- en waterkering en als funderingselement: een geïntegreerd ontwerp. Vanwege het regelmatige bouwstramien zit er veel repetitie in de geometrie. Zo zijn 45 van de middenkolommen steevast geplaatst met een tussenruimte van twee parkeer vakken. Ten gevolge van vooral het grachtwater op het dek, ontstaan hierdoor rekenwaarden van kolomlasten op de vloer van circa 7500 kN.

Innovatief principe

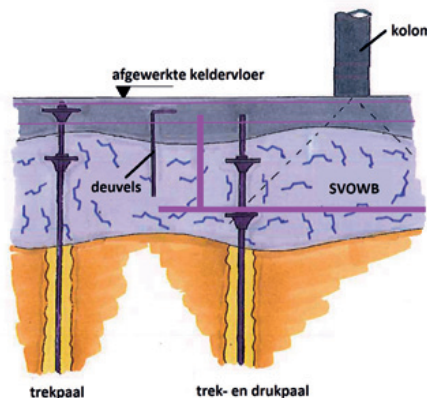
Een traditionele bouwwijze voor de keldervloer en fundering zou bestaan uit een ongewapende OWB-vloer met een tijdelijke functie in de bouwfase. Voor de eindsituatie zou een gewapende constructievloer dan de functie van waterafdichting over moeten nemen. Door de hoge kolomlasten en trillings-

eisen zouden al snel drie à vier dure (buis)schroefpalen nodig zijn om de drukbelasting vanuit één kolom op te vangen. Voor de bouwfase en onder vloervelden die op trek worden belast, zijn slanke ankerpalen doorgaans het meest economisch. Het grote verschil in stijfheidsgedrag tussen deze paaltypen geeft voor de bouwfase met onderwaterbeton echter problemen, met name voor pons en de paaltrekdraagkracht, waardoor geen sprake zou zijn van een optimaal economisch ontwerp. Vanuit ervaringen met staalvezelversterkt onderwaterbeton (SVOWB) zijn nieuwe principes ontwikkeld die een alternatief bieden voor de traditionele bouwwijze [1]. Er is in de tenderfase gekozen voor toepassing van een innovatief principe: een geïntegreerde keldervloer. Hierin werkt de SVOWB-vloer in de eindsituatie samen met de op te storten constructievloer. Dit reduceert de benodigde hoeveelheid beton en ontgraving met als gevolg een besparing van kosten, omgevingsbeïnvloeding en bouwtijd. De besparing in ontgravingsdiepte afhankelijk van projectspecifieke kenmerken, bedraagt al snel 0,5 m of meer. Doordat de samengestelde vloer vele malen dikker is dan een 'normale' keldervloer, en dus ook sterker en stijver, maakt dit principe ook een grotere spreiding mogelijk in de belastingafdracht. Hierdoor kunnen de neerwaartse belastingen vanuit de kelderconstructie en de gracht in de eindsituatie evenwicht maken met de opwaartse waterdruk onder de keldervloer. Het resultaat: een reductie van de drukbelasting op palen. Hierdoor kon worden volstaan met het toepassen van alleen GEWI-palen, die

Traditionele bouwwijze

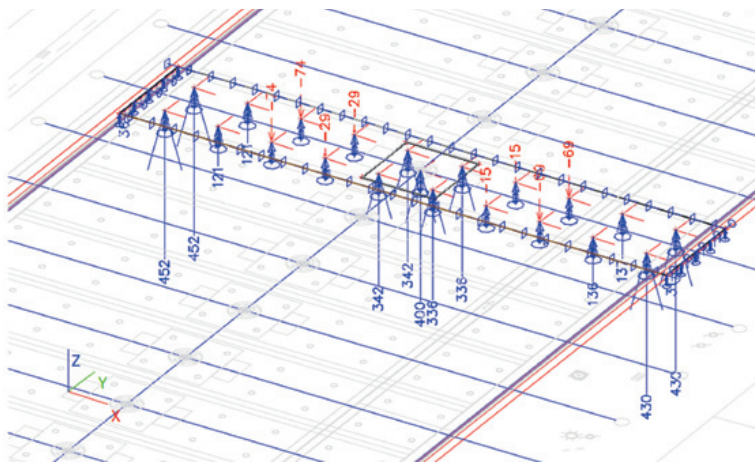


Geïntegreerde keldervloer

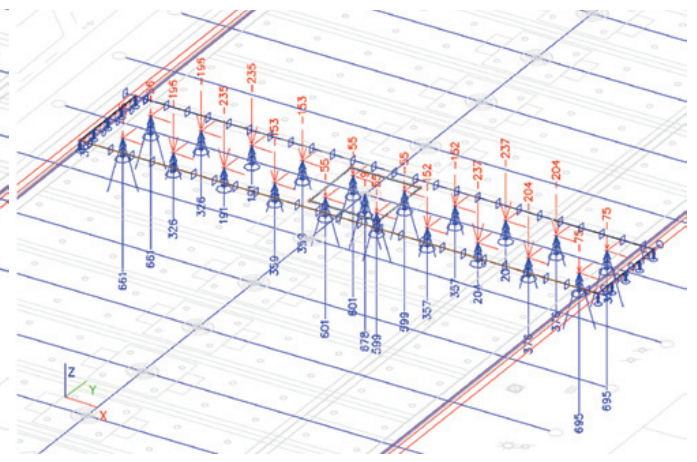


Varianten keldervloerprincipes Albert Cuyppgarage

Reacties DEF-BGT



Reacties DEF-UGT - Omhullende



Paalreacties standaarddoorsnede voor BGT-belastingcombinatie (links) en omhullende van UGT-belastingcombinaties (rechts)

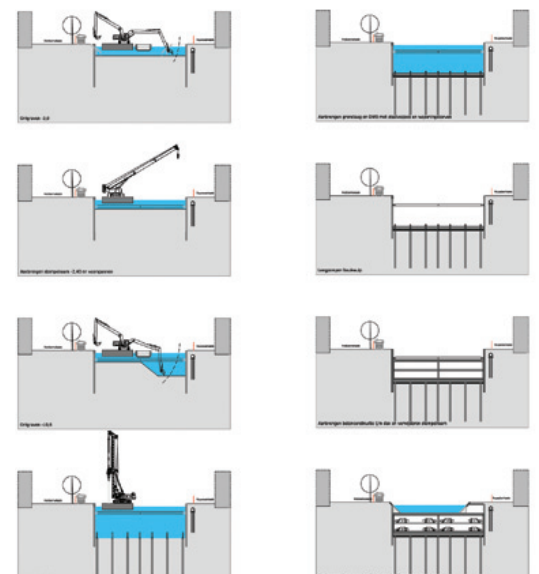
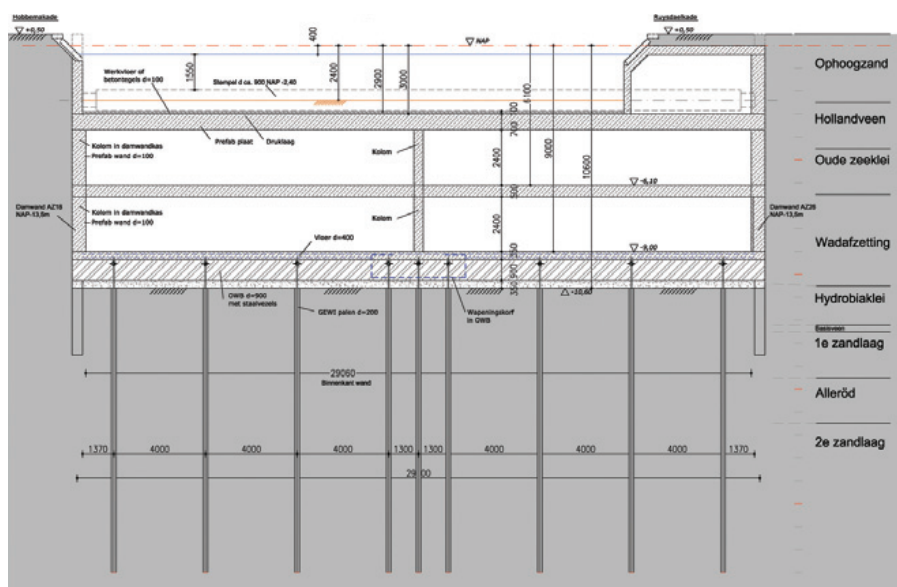
zowel op trek als op druk worden belast. De vloer van SVOWB voldeed met een nominale dikte van 900 mm; het op te storten vloerdeel met 300 mm. Doordat de keldervloer continu onder druk wordt gehouden door stempelkracht vanuit de permanente damwanden, voldoet de vloer in de dwarsrichting per definitie aan een hogere waterdichtheidsklasse dan een traditionele bouwwijze. In de langsrichting vormt het op te storten vloerdeel de primaire waterdichting. Door de koppeling met de SVOWB-vloer kan worden volstaan met een basiswapening die voldoet voor scheurwijdtebeheersing voor krimp. Het voordeel van de 'geïntegreerde keldervloer' is dat de basiswapening een grote arm heeft (ten opzichte van de

betondrukzone in SVOWB) en dus meer ('gratis') momentcapaciteit geeft. Bijlegwapening is hierdoor niet nodig. Bovendien geldt dat de op te storten constructievloer 300 mm dik is ten opzichte van (minimaal) 400 mm voor een traditionele variant; dit scheelt in basiswapening dus ook ongeveer 25 procent. Ter plaatse van de middenkolommen zijn wapeningskorven benodigd die in de SVOWB-vloer verzonken zijn. Hierdoor ontstaat een hybride constructie. Doorkoppelen van GEWI-staven, inboren van deussels en opruwen van het aanstortvlak garanderen de constructieve samenwerking en reduceren de kans op lekkages. Het innovatieve is dat de SVOWB-vloer niet alleen een tijdelijke functie heeft

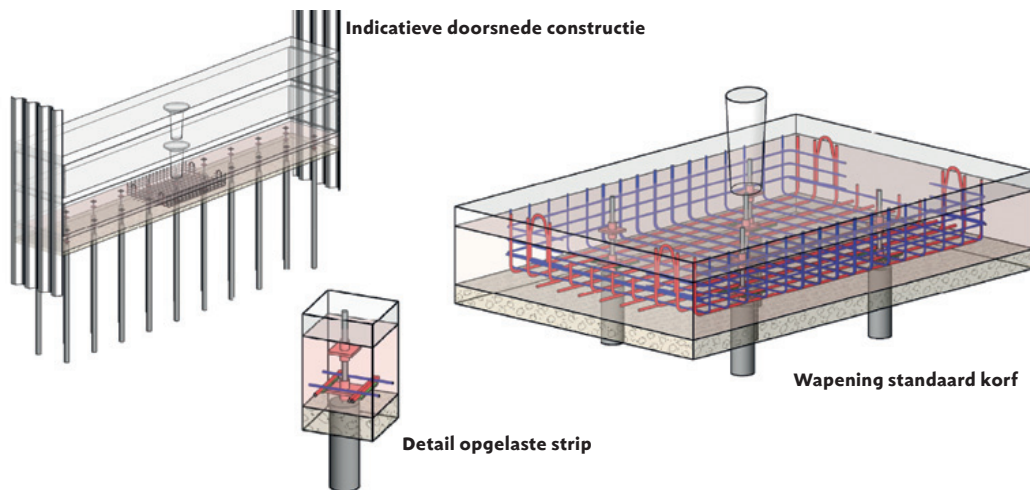
(zoals bij voorgaande projecten zoals Groninger Forum, Mauritshuis enz.), maar ook een functie in de eindfase; samen met de gekoppelde constructievloer.

Funderingsontwerp

De krachtswerking in de eindsituatie is beschouwd in een plaatmodel voor een strook van één standaardstramien (zie de figuur hierboven voor de paalreacties). In een BGT-beschouwing variëren de paalreacties in de eindsituatie van 450 kN druk onder de middenkolom en langs dragende wanden; onder vloervelden worden de GEWI-palen zeer beperkt op trek belast. In UGT-belastingssituaties kunnen alle palen op trek én druk belast worden met een range van 250 kN trek



BWG_Overzicht principe & fasering bouwkuip_B01



3D-model standaard wapeningskorf met kolom en koppeling met GEWI-palen

en 700 kN druk. Conclusie: uit de paalreacties volgt dat de totale netto reactiekracht op de funderingspalen mooi uitgebalanceerd is (vooral in BGT); neerwaartse belastingen maken grotendeels evenwicht met de opwaartse waterdruk.

De trekbelasting in de bouwfase bleek uiteindelijk bepalend voor het paalontwerp. Doordat ongeveer 2,5 à 3 meter aan waterafsluitende (klei)lagen aanwezig waren tussen de onderkant van de SVOWB-vloer en het watervoerende Pleistocene zandpakket, kon de vloer voor de bouwfase worden ontworpen op de opbarstdruk onder het Basisveen. Deze belasting is circa 15 kN/m² lager dan de natuurlijk aanwezige stijghoogte op het niveau onder de vloer. Ook dit leverde een aanzienlijke bijdrage aan de optimalisaties, omdat de palen niet doorgezet hoefden te worden tot het tweede draagkrachtige zandpakket. Voorwaarde hiervoor was dat er ontlastbuizen geplaatst moesten worden en de stijghoogte onder de vloer moest worden gemonitord gedurende en na het leegpompen.

Drukbelastingen in slanke ankerpalen kunnen leiden tot knik in grondlagen van klei of veen. Dit fenomeen is in CUR236 summier beschreven. De knikcapaciteit is voor dit project beschouwd volgens de methode vanuit het afstudeerwerk van Thomas Lankrijer [2]. Onder de kolommen en wanden bleek in dit geval toepassing van GEWI 63,5 mm benodigd vanwege knik; onder vloervelden kon worden volstaan met GEWI 50 mm.

3D-wapeningskorven

Alle 47 wapeningskorven onder de middenkolommen zijn, op de uiteinden na, volledig identiek uitgevoerd. De wapeningskorven zijn in 3D gemodelleerd met Revit. Het traject van ontwerp, via afstemming met aannemer en duikers, kon hierdoor in één vloeiende procesgang worden doorlopen tot aan de bestelling. Het resultaat was een korf die stijf genoeg was om goed te hijsen en zonder maatwerk altijd over de GEWI-staven op de onderschotels kon worden geplaatst. In het ontwerpproces is er op gestuurd dat er geen dwarskrachtwapening nodig was. Dit is mede gelukt door één van de GEWI-palen direct onder de kolommen te plaatsen. Door bundeling van staven kan de SVOWB goed door de korven stromen. De betondobber kon ook in de korven komen via twee openingen

aan de zijkanten. Om zeker te zijn dat het stortfront de korven niet kon verplaatsen, moesten deze op minimaal vier van de vijf ondersteunende GEWI-schotels gekoppeld worden. Platte strips zijn voorafgaand aan het plaatsen van de korven onder de staafbundels gelast; de duikers konden deze onderwater vervolgens makkelijker vastlassen.

Gefundeerd op water

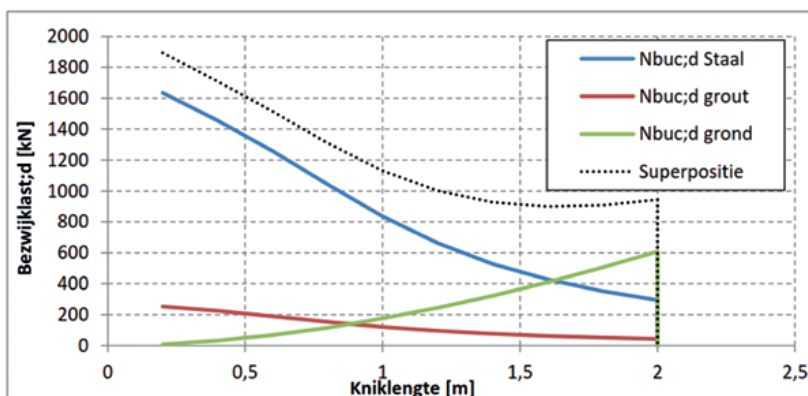
Nooit eerder is er een parkeergarage gebouwd onder een gracht in de hoofdstad. De Albert Cuyppgarage wijst uit dat het kan. Het principe van de geïntegreerde keldervloer heeft bewezen op grote schaal maakbaar te zijn, waarbij het veel voordelen biedt - met directe besparingen in ontgravingsdiepte, constructiehoogte, bouwtijd en kosten tot gevolg. In dit specifieke geval waren de indirecte optimalisaties misschien nog wel omvangrijker, zoals de reductie van omgevingsbeïnvloeding, besparing in damwanden en vooral de geoptimaliseerde fundering. De bijnaam 'stad op palen' gaat niet op voor dit stukje Amsterdam: de Albert Cuyppgarage en de gracht zijn vooral gefundeerd op water. ■

Ir. Ruud Arkesteijn, ABT B.V.

Literatuur:

- [1] *Definitieve onderwaterbetonvloeren met staalvezels* [Geotechniek, december 2016, ir. Ruud Arkesteijn]
- [2] *Knik van slanke palen – Een verbeterde berekeningsmethode* [Geotechniek, april 2015, ir. Thomas Lankrijer, ir. Guido Meinhardt, prof. ir. Frits van Tol]

Toegestane kniklast	
Rep-waarde: $N_{buc,rep}$	1283 kN
Rekenwaarde: $N_{buc,d}$	900 kN
Rekenwaarde CUR236 (indicatie zonder groutbijdrage)	448 kN



Knikcapaciteit GEWI 63,5 mm volgens [2]